

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 07 610.7

**Anmeldetag:** 22. Februar 2003

**Anmelder/Inhaber:** Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG,  
15827 Dahlewitz/DE

**Bezeichnung:** Verdichterschaufel für ein Flugzeugtriebwerk

**IPC:** F 01 D, F 04 D, B 64 C

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. Februar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'R' followed by a horizontal line.

Dzierzon

ROLLS-ROYCE DEUTSCHLAND LTD & Co KG  
ESCHENWEG 11

EM 70220  
21. Februar 2003

5

15827 DAHLEWITZ

10

15

20

---

**Verdichterschaufel für ein Flugzeugtriebwerk**

---

25

30

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Verdichterschaukel für ein  
5 Flugzeugtriebwerk, deren Schaufelblatt einen Schaufelkern  
aus einem Faserverbundwerkstoff und eine metallische Um-  
hüllung umfasst.

Die Schaufeln von Strömungsmaschinen und insbesondere von  
10 Flugzeugtriebwerken sind durch Fliehkräfte, Gasdruck und  
von dem strömenden Medium angeregte Schwingungen des  
Schaufelblattes, aber auch durch Erosion aufgrund ange-  
saugter Fremdpartikel oder durch Korrosion erheblichen  
15 Belastungen ausgesetzt. Die Verdichterschaukel von Flug-  
zeugtriebwerken können zusätzlich und in erheblichem Um-  
fang durch den beim Auftreffen eines Vogels auf die Fan-  
schaufeln bewirkten Vogelschlag belastet werden. Den dem-  
entsprechenden höchsten Sicherheitsanforderungen steht  
20 andererseits der Wunsch gegenüber, die Herstellungskosten  
zu verringern und den spezifischen Brennstoffverbrauch  
durch Reduzierung des Gewichts der Schaufeln und damit  
auch der Berstschutzelemente des Triebwerks zu senken.  
Diese Bauweise für rotierende Schaufeln kann in gleicher  
Weise auch für Statorschaufeln genutzt werden.

25

Zur Gewichtsreduzierung sind in Hohlbauweise ausgebildete  
Schaufeln bekannt, deren Fertigung jedoch mit extrem ho-  
hen Kosten verbunden ist und deren Verwendung daher nur  
bei großen Triebwerken wirtschaftlich vertretbar ist. Da  
30 der Einsatz von in Hohlbauweise ausgebildeten Triebwerks-  
schaufeln für Triebwerke mit geringem Schub hinsichtlich  
des Verhältnisses zwischen der erzielbaren Gewichtsein-  
sparung und den dafür erforderlichen Kosten nicht effek-  
tiv ist, werden die entsprechend kleineren Schaufeln sol-  
35 cher Triebwerke bisher weiterhin aus massivem Titan ge-  
fertigt. Sie halten zwar den oben erwähnten Belastungen

stand, sind aber dennoch gegenüber den durch die Strömung bedingten Schwingungen anfällig und zudem schwer und teuer.

5 Des Weiteren wurden aus Faserverbundwerkstoffen bestehende Schaufeln entwickelt, die gegenüber einer herkömmlichen, aus einem geeigneten Metall massiv hergestellten Schaufel zwar deutliche Gewichtsvorteile aufweisen und auch über eine spezifische Festigkeit und eine hohe Ei-  
10 gendämpfung zur Vermeidung von Schwingungen verfügen, aber den strengen Festigkeitskriterien in Bezug auf Erosion oder einen an der Oberfläche oder Eintrittskante des Schaufelblattes wirkenden Vogelschlag nicht genügen.

15 Die US 5655883 beschreibt eine aus einem Kohlenstofffaserverbund in einer Epoxidharzmatrix und einer Titanabdeckung bestehende Verdichterschaufel, deren Titanteil die Saugseite sowie den Vorderkanten- und Hinterkanten- und Schaufelspitzenbereich abdeckt.

20

Aus der DE 196 27 860 C1 ist eine Schaufel für eine Strömungsmaschine bekannt, die einen Schichtkörper aus faserverstärktem Kunststoff umfasst, dessen Oberfläche teil- oder vollflächig mit einer Schicht aus metallischen Fa-  
25 sern oder Fäden abgedeckt ist, die mit dem angrenzenden faserverstärkten Kunststoff über das gleiche Kunstharzbindemittel verbunden ist.

30 Gemäß der EP 1106783 A2 wird schließlich eine Strömungsmaschinenschaufel vorgeschlagen, deren aus einem Verbundwerkstoff bestehende Tragstruktur des Schaufelkerns von einer metallischen Hüllstruktur, bestehend aus einem Blech aus Titan oder dgl. und einem an der Innenseite des Bleches aufgeschweißten oder -gelöteten Metallfilzgewebe,  
35 umgeben ist.

Zwar weisen die zuvor erwähnten Triebwerksschaufeln gegenüber den bekannten Massivmetallschaufeln bei deutlich verringertem Gewicht eine ausreichende Eigenfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und schwingungsdämpfende Wirkung auf, hinsichtlich der Erosionsbeständigkeit und insbesondere in Bezug auf die Schlagfestigkeit beim Auftreffen von Vögeln oder anderen Objekten auf die Schaufeln werden sie den hohen Sicherheitsanforderungen jedoch nicht gerecht. Die Deckschicht kann durch länger wirkende Erosion oder bei einem Vogelschlag beschädigt werden, in deren Folge auch der aus dem Faserverbundmaterial bestehende Schaufelkern zerstört werden kann. Zudem ist es mit den bekannten Trag- und Hüllstrukturen nicht möglich, gerade im Eintrittsbereich der Luft eine aerodynamisch vorteilhafte geometrische Gestalt der Schaufel zu erzeugen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine gattungsgemäße Verdichterschaufel für Strömungsmaschinen und für Flugzeugtriebwerke über einen großen Schubkraftbereich anzugeben, die leicht und aerodynamisch vorteilhaft ausgebildet ist und neben den betriebsbedingten Belastungen auch den durch Vogelschlag oder erodierendes Material bedingten Belastungen standhält.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einer gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 ausgebildeten Verdichterschaufel gelöst. Aus den Unteransprüchen ergeben sich weitere Merkmale und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Der Grundgedanke der Erfindung besteht mit anderen Worten darin, dass die metallische Umhüllung des aus Faserverbundmaterial bestehenden Schaufelkerns mehrteilig ausgebildet ist und aus einem Deckblech für die Saugseite, ei-

5 nem Deckblech für die Druckseite und einem aerodynamisch  
geformten Führungskanten-Formstück aufgebaut ist. Durch  
das mit den beiden Deckblechen verbundene Formstück kön-  
nen die auf die Schaufel durch Vogelschlag oder erodie-  
rendes Material wirkenden größten Belastungen aufgenommen  
10 werden und die aerodynamischen Eigenschaften optimal ein-  
gestellt werden. Der Aufbau aus den drei Umhüllungsbe-  
standteilen ermöglicht eine von der jeweiligen Beanspru-  
chung abhängige Variation der eingesetzten Werkstoffe und  
Materialstärken, um einerseits die geforderten Festig-  
keitseigenschaften zu gewährleisten, aber andererseits  
möglichst wenig Material einzusetzen und dadurch auch bei  
15 der Umhüllung Gewicht zu sparen. Die mehrteilige Ausbil-  
dung der Umhüllung unter Verwendung des Führungskanten-  
Formstücks erlaubt zudem eine einfache Reparatur der Ver-  
dichterschaufel.

20 In weiterer Ausbildung der Erfindung ist das Führungskan-  
ten-Formstück derart asymmetrisch ausgebildet, dass die  
Deckbleche und deren Anschlüsse an das Führungskanten-  
Formstück versetzt zueinander angeordnet sind. Dadurch  
ist die stärker belastete Fügenaht und auch das stärker  
belastete Deckblech auf der Druckseite der Verdichter-  
schaufel weiter von der Führungskante entfernt und wird  
25 weniger stark beansprucht. Die Asymmetrie des Führungs-  
kanten-Formstücks kann sich bei einer an dessen zum  
Schaufelkern weisenden Innenfläche vorgesehenen Auskeh-  
lung auch auf eine unterschiedliche Materialstärke auf  
der Druckseite und auf der Saugseite beziehen, wobei auf  
30 der Druckseite mehr Material als auf der Saugseite vor-  
handen ist. In der gleichen Art kann auch die Stärke der  
Deckbleche variiert werden, wobei auch Bleche mit sich  
ändernder Blechstärke eingesetzt werden können, jedoch  
der dickere Blechabschnitt an das Führungskanten-  
35 Formstück anschließt.

In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung kann an der zum Schaufelkern weisenden Seite des Führungskanten-Formstücks ein Befestigungssteg angeformt sein, über den eine innige Verbindung des Führungskanten-Formstücks mit dem Faserverbundwerkstoff des Schaufelkerns erzielt wird. Die innige Verbindung zwischen Vorderkanten und Faserverbundwerkstoff kann zum Beispiel auch durch formschlüssiges Einweben der Vorderkanten erfolgen

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Schnittansicht des Schaufelblattes einer erfindungsgemäß ausgebildeten Verdichterschaukel für ein Flugzeugtriebwerk;

Fig. 2 eine detaillierte Darstellung des Bereichs der Führungskante der Verdichterschaukel nach Fig. 1 in einer ersten Ausführungsform;

Fig. 3 eine detaillierte Darstellung der Führungskante der Verdichterschaukel nach Fig. 1 in einer zweiten Ausführungsvariante; und

Fig. 4 eine detaillierte Darstellung der Verdichterschaukel im Bereich der Führungskante in einer dritten Ausführungsform.

Die Verdichterschaukel umfasst einen hochsteifen Schaufelkern 1 aus einem Faserverbundmaterial, eine metallische Umhüllung 2 mit einem Führungskanten-Formstück 3 und einem Schaufelfuß (nicht dargestellt), über den die Verdichterschaukel mit einer Scheibe (nicht dargestellt) verbunden ist.

Das Faserverbundmaterial des Schaufelkerns dient in bekannter Weise als Tragstruktur zur Aufnahme der Zentrifugalkräfte und der Biege- und Torsionsbelastung sowie zur Schwingungsdämpfung und schließlich zur Gewichtsreduzierung gegenüber den massiv aus Metall hergestellten Verdichterschaufeln. Die metallische Umhüllung 2 besteht aus einem an der Druckseite der Verdichterschaufel vorgesehenen ersten Deckblech 5 und einem an der Saugseite der Verdichterschaufel vorgesehenen zweiten Deckblech 4. An der zum Schaufelkern 1 weisenden Innenseite der Deckbleche 4 und 5 ist jeweils ein Metallgewebe 6 befestigt, über das eine innige, feste Verbindung zwischen den Deckblechen 4, 5 und dem Faserverbundmaterial des Schaufelkerns 1 hergestellt wird. Alternativ kann diese innige Verbindung zwischen den Deckblechen und dem Faserverbundmaterial auch durch nach dem Stand der Technik bekannten Weisen vorbehandelt werden wie zum Beispiel Anätzen oder Aufrauen der Bleche. Die Deckbleche 4, 5 sind in der Lage, einen Teil der Schlagkräfte und der Erosionsbelastung, die durch Vogelschlag oder auftreffende Sand- oder Hagelkörner auftreten, aufzunehmen. Da die Schlag- und Erosionswirkungen im Bereich der Führungskante (Lufteintrittskante) der Schaufel jedoch besonders groß sind, könnte eine herkömmlich hergestellte Schaufel durch Vogelschlag zerstört werden oder durch in diesem sensiblen Bereich allmählich fortschreitende Erosion, Korrosion und Rissbildung beschädigt werden und dabei auch den Schaufelkern 1 in Mitleidenschaft ziehen. Um das zu verhindern sind die beiden Deckbleche 4 und 5 an der Führungskante der Schaufel über ein Führungskanten-Formstück 3 miteinander verbunden.

Das Führungskanten-Formstück 3 besteht aus massivem Metall, beispielsweise aus austenitischem Stahl, und weist



an der den Kanten der Deckbleche 4, 5 zugewandten Seite jeweils eine der Länge und Stärke des betreffenden Deckbleches entsprechende Ausnehmung 7 auf. In der Ausnehmung 7 ist die Vorderkante des jeweiligen Deckbleches 4, 5 mit dem Führungskanten-Formstück 3 durch Schweißen, zum Beispiel Laser- oder Diffusionsschweißen, verbunden, und zwar so, dass die Außenfläche des Führungskanten-Formstückes 3 bündig mit der Außenfläche des jeweiligen Deckblechs abschließt und somit der Übergang zwischen Deckblech und Führungskanten-Formstück nicht kerbempfindlich ist.

Gemäß der Zeichnung, wie insbesondere aus Fig. 2 erkennbar, ist das Führungskanten-Formstück 3 so ausgebildet, dass die beiden Schweißnähte 8 und 9, über die die Deckbleche 4, 5 mit dem Führungskanten-Formstück 3 verbunden sind, versetzt zueinander angeordnet sind. Dadurch kann die Schweißnahtprüfung ohne gegenseitige Fehlerbeeinflussung erfolgen. Von großer Bedeutung ist jedoch die richtige Anordnung der Anschlussstellen (Ausnehmungen 7) am Führungskanten-Formstück 3, und zwar so, dass die auf der höher belasteten Druckseite (Deckblech 5) liegende Anschlussstelle für die Schweißnaht 9 weiter von der Führungskante (Spitze des Führungskanten-Formstückes 3) weg angeordnet ist. Dadurch wird diese Verbindungsstelle zwischen Führungskanten-Formstück 3 und Deckblech 5 (Druckseite) nicht zu stark beansprucht.

Gemäß der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform ist in die zum Schaufelkern 1 (Faserverbundmaterial) weisende Fläche des Führungskanten-Formstückes 3 eine Auskehlung (Vertiefung) 10 eingeformt, um eine große Kontaktfläche und damit eine möglichst gute Verbindung mit dem Faserverbundmaterial zu schaffen und zudem die Masse des Führungskanten-Formstückes 3, gerade wenn dieses sehr lang oder dick

ausgebildet ist, zu reduzieren. Es versteht sich, dass die Dimensionierung des Führungskanten-Formstücks 3 variabel ist und, zum Beispiel mit einem sehr kleinen Radius an der Spitze, so gestaltet werden kann, dass optimale  
5 aerodynamische Eigenschaften erzielt werden.

In Fig. 4 ist eine weitere Ausführungsform des Führungskanten-Formstücks 3 wiedergegeben, an dessen zum Schaufelkern weisender Seite ein in das Faserverbundmaterial  
10 ragender Befestigungssteg 11 angeformt ist, der zum Schaufelkern 1 hin auch keilförmig erweitert sein kann, um eine innige Verbindung zwischen Schaufelkern 1 und Führungskanten-Formstück 3 zu schaffen. Aus Fig. 4 ist insbesondere zu erkennen, dass der Befestigungssteg 11  
15 mit Befestigungslöchern 12 versehen ist, über die das Fasermaterial mit dem Befestigungssteg 11 verbunden ist. Der Befestigungssteg 11 kann auch andere Profilierungen, Strukturierungen oder Verankerungselemente zur Herstellung einer festen Verbindung zwischen Führungskanten-  
20 Formstück 3 und Schaufelkern 1 aufweisen.

Wie oben erwähnt ist die Beanspruchung der Verdichterschaufel auf der Druckseite größer als auf der Saugseite und in der Nähe der Führungskante wiederum größer als in einem von dieser weiter entfernten Bereich. Die mehrteilige metallische Umhüllung 2, bestehend aus dem Führungskanten-Formstück und den beiden Deckblechen, schafft die Möglichkeit, die verschiedenen Bestandteile der Umhüllung aus unterschiedlichen, auf die jeweilige Belastung abge-  
25 stimmten Werkstoffen herzustellen oder die Deckbleche jeweils in unterschiedlicher Blechstärke auszubilden. Diese Bauweise ermöglicht die Deckbleche und das Führungskanten-Formstück aus jeweils den Anforderungen angepassten, unterschiedlichen Werkstoffen herzustellen. In besonderer  
30 Weise sind Nickelbasiswerkstoffe, austenitische Stähle  
35

und Titanbasiswerkstoffe geeignet. Aufgrund der hohen Belastung in dem Führungskantennahen Bereich auf der Druckseite ist das Deckblech 5, wie Fig. 1 zeigt, in variablen Wandstärken  $s_1, s_2, \dots$ , sog. "maßgeschneiderte Bleche" (taylored blanks) ausgeführt. Der Bereich mit der größeren Wandstärke  $s_1$  schließt dann direkt an das Führungskanten-Formstück 3 an.

Wie erwähnt, ist auch die Länge des Führungskanten-Formstücks 3 in Abhängigkeit von der zu erwartenden Belastung variabel. Auch das Profil des Führungskanten-Formstücks kann, wie Fig. 3 zeigt, so geformt sein, dass auf der Druckseite mehr Material als auf der Saugseite vorhanden ist.

Die in den zuvor erläuterten Ausführungsbeispielen beschriebene Verdichterschaukel mit einer aus den Elementen 3, 4 und 5 aufgebauten metallischen Umhüllung 2 kann entsprechend den jeweiligen Belastungsbedingungen hinsichtlich Materialstärke, Materialart und Formgebung der Führungskante so ausgebildet werden, dass bei maximal notwendigem Gewicht eine hohe Stabilität und eine lange Lebensdauer sowie optimale aerodynamische Eigenschaften gewährleistet sind. Eine am ehesten in dem am höchsten belasteten Führungskantenbereich auftretende Rissbildung oder Materialschwächung oder -schädigung durch Erosion oder Korrosion kann durch Austausch des Führungskanten-Formstücks 3 oder durch Materialauftrag kostengünstig repariert werden.

**Bezugszeichenliste**

	1	Schaufelkern
	2	Umhüllung
5	3	Führungskanten-Formstück
	4	Deckblech (Saugseite)
	5	Deckblech (Druckseite)
	6	Metallgewebe
	7	Ausnehmung
10	8, 9	Schweißnaht
	10	Auskehlung (Vertiefung)
	11	Befestigungssteg
	12	Befestigungslöcher

**Patentansprüche**

- 5      1. Verdichterschaukel für ein Flugzeugtriebwerk, deren  
Schaufelblatt einen Schaufelkern aus einem Faserver-  
bundwerkstoff und eine metallische Umhüllung umfasst,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
10      die metallische Umhüllung mehrteilig aufgebaut ist  
und ein Deckblech (4) auf der Saugseite sowie ein  
Deckblech (5) auf der Druckseite umfasst, die im Be-  
reich der Führungskante des Schaufelblattes über ein  
aus massivem Metall bestehendes Führungskanten-  
Formstück (3) verbunden sind.
- 15      2. Verdichterschaukel nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Führungskanten-Formstück (3) im Querschnitt asym-  
metrisch geformt ist und die Schweißnähte (8, 9) zur  
20      Verbindung mit den stirnseitig angeschlossenen Deck-  
blechen (4, 5) stirnseitig über Schweißnähte (8, 9)  
zueinander versetzt angeordnet sind, wobei die druck-  
seitige Schweißnaht (9) weiter von der Führungskante  
entfernt ist als die saugseitige Schweißnaht (8).
- 25      3. Verdichterschaukel nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das die Außenflächen der Deckbleche (4, 5) und des  
Führungskanten-Formstückes (3) bündig aneinander an-  
30      schließen.
- 35      4. Verdichterschaukel nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Führungskanten-Formstück (3) Ausnehmungen (7) zur  
Aufnahme der Enden der Deckbleche (4, 5) aufweist.

5. Verdichterschaukel nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das asymmetrisch geformte Führungskanten-Formstück  
(3) auf der Druckseite länger als auf der Saugseite  
ausgebildet ist und zum Schaufelkern (1) hin eine  
Auskehlung (10) bildet, in die das Faserverbundmate-  
rial hineinragt.
6. Verdichterschaukel nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Druckseite des Führungskanten-Formstücks (3)  
stärker als auf der Saugseite ausgebildet ist.
7. Verdichterschaukel nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
an das Führungskanten-Formstück (3) zum Schaufelkern  
(12) hin ein Befestigungssteg (11) angeformt ist, der  
in das Faserverbundmaterial hineinragt.
8. Verdichterschaukel nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Befestigungssteg (11) zum Schaufelkern hin keil-  
förmig erweitert ist und/oder Oberflächenstrukturen  
oder Befestigungslöcher (12) aufweist, über die das  
Faserverbundmaterial mit dem Führungskanten-Formstück  
(3) verwebt ist.
9. Verdichterschaukel nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Stärke der einzelnen Deckbleche (4, 5) oder ein  
und desselben Deckblechs über dessen Breite von der  
Führungskante zur hinteren Kante belastungsabhängig  
unterschiedlich ist.

10. Verdichterschaukel nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Deckblech (5) auf der Druckseite stärker als das  
Deckblech (4) auf der Saugseite ist oder ein und das-  
5 selbe Deckblech am führungsseitigen Ende stärker aus-  
gebildet ist.

11. Verdichterschaukel nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
10 die einzelnen Bauteile (3 bis 5) der Umhüllung (2)  
aus der jeweiligen Belastung entsprechenden unter-  
schiedlichen Metallen oder Metalllegierungen beste-  
hen.

12. Verdichterschaukel nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Führungskanten-Formstück (3) mit einem kleinen  
Spitzenradius aerodynamisch vorteilhaft geformt ist.

13. Verdichterschaukel nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
als Werkstoff für die Deckbleche (4, 5) und für das  
Führungskanten-Formstück (3) Nickelbasiswerkstoffe,  
austenitische Stähle und Titanbasiswerkstoffe einge-  
25 setzt werden.

14. Verdichterschaukel nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die metallische Umhüllung an der zum Schaufelkern ge-  
30 wandten Seite ein Metallgewebe (6) umfasst.

### Zusammenfassung

5 Eine Verdichterschaukel für ein Flugzeugtriebwerk umfasst  
einen Schaufelkern (1) aus einem Faserverbundwerkstoff  
und eine metallische Umhüllung (2). Die Umhüllung ist  
mehrteilig aufgebaut und besteht aus einem saugseitig und  
10 einem druckseitig mit dem Schaufelkern über ein Metallge-  
webe (6) verbundenen Deckblech (4, 5), wobei die beiden  
Deckbleche an der aerodynamisch geformten Führungskante der  
Verdichterschaukel über ein Führungskanten-Formstück (3)  
fest miteinander verbunden sind. In Abhängigkeit von der  
15 unterschiedlichen Belastung auf der Saug- und auf der  
Druckseite sind die Fugenähte (8, 9) zueinander versetzt  
angeordnet und die Materialstärken der Umhüllungsteile  
aufeinander abgestimmt.

20 (Fig. 1)



FIG. 1



